Über die Möglichkeit, hochfrequente mechanische Schwingungen als diagnostisches Hilfsmittel zu verwerten[1].

Von

Oberarzt (Kr.O.) Dr. **Karl Theo Dussik,**

dzt. Leiter einer Fliegeruntersuchungsstelle und Führer einer Lw.-San.-Staffel.

Mit 3 Textabbildungen.

(Eingegangen am 12. September 1941.)

Zu der Annahme, hochfrequente mechanische Schwingungen könnten auch medizinische Bedeutung erhalten, und zu dem Plane, ihre diagnostische Verwertung zu versuchen, wurde ich Ende 1937 durch einen kurzen Übersichtsartikel über Anwendung dieser Energieform in der Unterwasserschalltechnik zum Zwecke der Echolotung und bei der Prüfung von Werkstücken auf kleine Fehlerstellen angeregt. Der Durchführung meines Planes stellten sich erhebliche Schwierigkeiten entgegen, die in der Sache selbst, aber auch in äußeren Umständen lagen, weshalb sich eine Veröffentlichung bis heute verzögerte.

Vorliegende Untersuchung soll erstens die Frage zu klären versuchen, welche krankhaften Zustandsänderungen mit Hilfe der hochfrequenten mechanischen Schwingungen zu erkennen wären; zweitens ob eine Gefährdung eintreten kann und welche Bedingungen das praktisch zur Durchführung kommende Verfahren einhalten muß, um ohne Schädigung des Patienten genaue, verläßliche und doch einfach zu gewinnende Angaben am Menschen zu erhalten. Drittens erhebt sich die Frage der Indikation zu dieser Untersuchungsmethode, da aus physikalischen und anatomischen Gründen nur bestimmte Körpergegenden in Betracht kommen, zu denen der Hirnschädel und vielleicht auch die Wirbelsäule gehören dürfte. In diesen Gegenden könnten die durch das Verfahren erreichbaren Angaben praktischen Wert besitzen.

Einen physikalischen Überblick über dieses Gebiet zu geben, erübrigt sich. Heute liegen in den Monographien von *Bergmann* und *Hiedemann* sowie *Dognon* und *E.* und *H. Biancani* zusammenfassende Arbeiten vor, die jede Einzelheit leicht zugänglich machen. Eine Übersicht über das für den Arzt Wichtige gibt *Schliephake*. Ich kann mich daher darauf beschränken, die physikalischen Tatsachen nur soweit anzuführen, wie es zur Untersuchung der eben aufgestellten Fragen und zur Begründung der Ergebnisse nötig ist.

I.

Hochfrequente mechanische Schwingungen werden auch als *Ultraschall* bezeichnet. Die Frage nach der Art der durch sie erzielbaren diagnostischen Daten hängt zunächst von einer Reihe physikalischer

[1] Abgeschlossen am 1. Mai 1941.

Eigenschaften dieser Schwingungen ab, die in der Technik etwa seit der Jahrhundertwende *(Hiedemann)* eine Rolle spielen. Die Ultraschallwellen unterscheiden sich grundsätzlich von den elektromagnetischen Schwingungen, z. B. auch den Lichtwellen, dadurch, daß es sich beim Ultraschall um Schwingungen in einem elastischen Medium selbst handelt, daß es also zu periodischen Teilchenverschiebungen der durchschallten Substanz selbst kommt. Werden z. B. Schwingungen einer Saite erzeugt, so übernimmt die Luft diese Schwingungen und leitet sie zum menschlichen Ohr, wo sie den Eindruck eines um so höheren Tones hervorrufen, je rascher die Schwingungen erfolgen. Den höchsten hörbaren Ton vernehmen wir, wenn die Schwingungen etwa 20000mal in der Sekunde erfolgen, also bei einer Frequenz von rund 20000 Hz. Es können aber auch solche mechanische Schwingungen erzeugt werden, die eine weit höhere Frequenz haben und es ist nur in der Begrenztheit unseres Sinnesorganes gelegen, daß wir diese höherfrequenten Schwingungen nicht mehr hören, überhaupt nicht mehr unmittelbar wahrnehmen können. Die Wellenlänge λ dieser Schwingungen wird, wie aus der Beziehung $\lambda = c/f$ hervorgeht, mit steigender Frequenz f immer kürzer, sie ist ferner in Anbetracht der im Verhältnis zu den elektromagnetischen Schwingungen sehr geringen Geschwindigkeit c (nach *Bergmann* in Wasser Schallgeschwindigkeit etwa 1200 m/Sek.) wesentlich kürzer, als die gleichfrequenter elektromagnetischer Wellen, deren Geschwindigkeit bekanntlich rund 300000 km/Sek. beträgt. Bei der Frequenz, die wir bei unseren Versuchen meistens anwendeten (1500 kHz = 1500000 Schwingungen in der Sekunde), beträgt die Wellenlänge in Wasser

$$\lambda = c : f = 12.10^2 \text{ m} : 15.10^5 = 8.10^{-4} \text{ m} = \mathit{0{,}8\ mm}.$$

Diese Größenanordnung spielt bei dem Ausbau unserer Methodik eine Rolle, wir haben sie in einem entscheidenden Punkt zu berücksichtigen.

Die physikalischen Eigenschaften des Ultraschalls können in zwei Gruppen eingeteilt werden, und zwar in solche, die allen Schallwellen zukommen und in solche, die erst bei den höheren Frequenzen, also beim Ultraschall allein, auftreten. Die Eigenschaften der ersten Gruppe bedingen, daß die Gesetze der Akustik auch in den oberhalb des menschlichen Hörens gelegenen Frequenzen weitergelten, die auf allgemeine Gesetze des Hörschalls aufgebauten Erfahrungen — und solche spielen in der Medizin seit jeher eine Rolle — sind daher auch für die Anwendung des Ultraschalls von Bedeutung. Die Tatsache, daß seit *Auenbrugger* der Hörschall im Dienste der klinischen Untersuchung als diagnostische Hilfe nicht mehr wegzudenken ist, kann meines Erachtens nicht einfach als zufällig oder selbstverständlich genommen werden. Bei den Beziehungen zwischen krankhaften Veränderungen der Organe und Gewebe und ihren akustischen Eigenschaften, wie z. B. der Schalleitfähigkeit und der Resonanz, handelt es sich um einen Zusammenhang, der in bestimmtem Sinne tiefer bedingt ist, als z. B. der zwischen krankhaften Zustandsänderungen und dem für das Auge erfaßbarem Bilde.

Wir schätzen nur deshalb im allgemeinen die optischen Daten wichtiger ein, weil wir als Menschen „Augentiere" sind und gewöhnt sind, meistens optische Eindrücke für die Orientierung vorzuziehen. Wenn diese aber nicht mehr ausreichen, oder gar nicht mehr zur Verfügung stehen, greifen wir schon im gewöhnlichen Leben zu anderen Orientierungsmitteln und das gleiche tun wir bei der Perkussion und Auskultation. Wegen der souveränen alterprobten Geltung solcher alter Erfahrungen ist es gerade dann von Wert, sich ihrer zu erinnern, wenn wir komplizierte Apparate anwenden wollen. Fragen wir uns des Näheren, was für eine allgemeine Gesetzmäßigkeit in der Perkussion und Auskultation ausgenützt wird, so ist die einfache Antwort, daß die krankhaften Vorgänge oft frühzeitig und verhältnismäßig stark gerade jene physikalischen Eigenschaften der Gewebe verändern, die die Schallphänomene beeinflussen, und daß zweitens der Schall in Tiefen dringt, die wir mit dem Auge nicht mehr erreichen können. Es handelt sich dabei offenbar um Veränderungen der Dichte des Gewebes, um seine Konsistenz, seinen relativen Wassergehalt und seine kolloidale Struktur. Über diese Eigenschaften der Gewebe und ihre Abweichung vom normalen Zustand könnte uns der Ultraschall Auskunft geben und damit würden nicht unwichtige Daten geliefert werden.

Ohne Zweifel hat der Hörschall für die Untersuchung auch eine Reihe objektiver Nachteile. Er ist weniger gut meßbar, folgt komplexeren Bedingungen und ist variabler als andere physikalische Daten. Akustische Erscheinungen sind auch im allgemeinen im physikalischen Sinne weniger gut reproduzierbar. Vor allem besteht kaum eine Möglichkeit, die Richtung zu bestimmen, die der Hörschall nehmen soll. Gerade in diesen Punkten kommen uns jene Eigenschaften des Ultraschalls zu gute, die erst bei höherer Frequenz auftreten. Bei den in der Medizin meist angewendeten Frequenzen bildet der größte Teil der hochfrequenten mechanischen Schwingungen einen *umgrenzten, gerichteten Ultraschallstrahl*, der sich geradlinig fortpflanzt. Durch Untersuchungen in verschiedenen Richtungen des Raumes können daher umschriebene Veränderungen der Schalleitfähigkeit gut lokalisiert werden. Die Reflexions- und Brechungserscheinungen stören dabei kaum. Die Möglichkeit der Verwertung der Echoerscheinungen analog der Verwendung als Echolot zur Bestimmung der Meerestiefen wird später noch besprochen.

Ultraschall kann zwar mit den Sinnen nicht unmittelbar wahrgenommen werden, sondern nur mittelbar an verschiedenen Wirkungen, z. B. an der auftretenden Wärme oder an mechanischen Folgen. Wie auf so vielen anderen Gebieten hat aber auch hier die moderne physikalische Forschung eine „Erweiterung unserer Sinne" geschaffen, um mit dem von *Bernhard Bavink* in Ausführungen über den Erkenntnisprozeß in der Physik verwendeten Ausdruck zu sprechen. Dieser Aufgabe dienen verschiedene physikalische Verfahren, mit deren Hilfe sich Ultraschall verhältnismäßig einfach feststellen und messen läßt. Dadurch wird es

möglich, ein „Ultraschallfeld“ nach Frequenz, Geschwindigkeit, Wellenlänge und Amplitude, also Schallintensität, zu bestimmen. Diese physikalischen Größen sind untereinander mathematisch abhängig und werden außerdem durch das durchschallte Medium beeinflußt. Legen wir eine dieser physikalischen Größen, z. B. die Schallintensität, fest, nachdem sie ein gegebenes Medium, z. B. Wasser oder Öl eine bestimmte Strecke durchlaufen hat, und ändern nun das Schallmedium durch Einbringung eines Untersuchungsobjektes in das Wasser oder das Öl, und messen nunmehr wieder die Schallintensität in der gleichen Entfernung von der Schallquelle, so finden wir je nach dem Schallvermögen des Untersuchungsobjektes in dem durchschallten Bereich eine entsprechende Änderung der Schallintensität. Wir erhalten so ein relatives Maß für das Schalleitvermögen der durchschallten Objekte, ein Maß der bei dem bestimmten Objekt vorliegenden Schallabsorption. Man kann nun mit praktisch erlaubter Vernachlässigung einiger anderer Faktoren sagen, daß „die Absorption in einem bestimmten Medium mit der Schallfrequenz und der Viskosität des Mediums wächst und mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit und der Dichte des Mediums geringer wird“ (*Schliephake*). Bei gegebenen Größen des verwendeten Ultraschalls hängt also die Absorption von den Eigenschaften des durchschallten Objektes ab, wobei neben dem physikalischen Zustand auch bei verschiedenen untersuchten Stellen Dicke und Gestaltung der Schichten, aus denen das Gewebe sich aufbaut, sowie die Form des Objektes eine Rolle spielt. Prozesse, die die Dichte des Gewebes, also bestimmte Seiten des histologischen Aufbaues, den Wassergehalt und die kolloidale Struktur verändern, können sich daher in einer Veränderung der Schallabsorption anzeigen. Da die Perkussion und Auskultation seit alters her lehrt, daß der durch krankhafte Vorgänge erreichte Grad der Veränderungen der erwähnten physikalischen Eigenschaften ausreicht, sogar den Hörschall für das Ohr merkbar zu verändern, so ist die Annahme berechtigt, daß es durch Anwendung der viel empfindlicheren Ultraschallmethoden gelingen kann, praktisch verwendbare Angaben zu erzielen. Die Tatsache, daß die Kleinheit der Wellenlänge die Beugung gegenüber der strahlenförmigen, geradlinigen Ausbreitung der hochfrequenten mechanischen Schwingungen zurücktreten läßt, ermöglicht durch Untersuchungen in verschiedenen Richtungen des Raumes Abgrenzung und Lokalisation der Stellen umschriebener Veränderungen der Absorption.

II.

Wenden wir uns nun der Frage zu, welche Nebenwirkungen denkbar sind und ob und wie sich eine Gefährdung vermeiden läßt, so müssen wir einen Blick auf die biologischen Wirkungen des Ultraschalles werfen. Solche Wirkungen sind schon lange bekannt, als erster hat *Langevin* während des Weltkrieges beobachtet, wie kleine Fische getötet wurden, wenn sie in einen sehr intensiven Ultraschallstrahl gerieten, die er zu

Unterwasserschallversuchen verwendete. Eine systematische Untersuchung der biologischen Einflüsse dieser Energieform setzte ein, als *Wood* und *Loomis* Beobachtungen an verschiedenen Einzellern und an roten Blutkörperchen veröffentlichten. *Dognon* und *Biancani* haben über dieses Gebiet eine Darstellung veröffentlicht, die über eigene Arbeiten und über solche von *Harvey* und *Loomis, Johnson, Schmitt* und *Uhlemayer* berichtet. Es wurde beobachtet, daß bei geringeren Energien trotz oft erstaunlich ausgesprochenen Veränderungen der mikroskopischen Struktur des Zellinneren die Wirkungen reversibel waren, während bei zunehmender Schallenergie eine Schwelle erreicht wird, von der ab irreversible Folgen eintreten. Sie fanden pathologisch-anatomisch nur am Muskelsystem Veränderungen («...dilacération et déchiquetage extraordinaire du tissu musculaire strié»), alle anderen Organe, auch das besonders genau an sehr lange bestrahlten Mäusen untersuchte Zentralnervensystem, erwies sich auch bei den durch Ultraschall getöteten Tieren autoptisch normal, auch Serienschnitte des Gehirnes. In diesem Zusammenhang ist ferner auf die Ergebnisse von *Gohr* und *Wederkind* hinzuweisen, die zeigten, daß durch Ultraschall sehr hoher Energien Fermente, Diastase, Pepsin und andere biologisch wichtige Stoffe, wie Insulin, Vitamin C, Ergosterin u. a. zerstört werden können. Die genannten Verfasser haben auch intra vitam und postmortal an Kaninchen durch sehr hohe Ultraschallenergie Schädigungen gesetzt.

Aus diesen Beobachtungen ergibt sich, daß Ultraschall keineswegs eine indifferente Energieform ist, sondern sehr wesentliche Wirkungen auf die lebende Substanz haben kann. Gerade die biologischen Versuche zeigen aber auch, worauf es ankommt, wenn Schädigungen vermieden werden sollen: wir müssen mit sehr kleiner Energie arbeiten, um jedenfalls unter der Schädigungsschwelle zu bleiben. Eine solche Schwelle ist ja schon deshalb von vornherein anzunehmen, da es sich bei den Kräften, die die Schwingungen bedingen, also Druck- und Temperaturverschiebungen sowohl in der Richtung der Erwärmung als auch der Unterkühlung sowie den daraus folgenden Wirkungen nicht um qualitativ neuartige Energien, sondern um solche Einflüsse handelt, denen die lebende Substanz allenthalben ausgesetzt ist und gegen die sie daher auch eine gewisse Widerstandsfähigkeit haben muß. Wegen der Trägheit der Protoplasmareaktion muß sich ferner der einzige neuartige Faktor, die hohe Frequenz, auch nicht ungünstig auswirken. Für die praktische Durchführung der Anwendung ergab sich allerdings die Frage, ob es ein Verfahren gibt, das so geringe Ultraschallenergien so genau nachzuweisen erlaubt, daß ohne Schädigung doch verwertbare Schlüsse ermöglicht werden. So wird die Frage, ob sich bei Vermeidung von Gefahren für den Patienten noch diagnostisch auszuwertende Daten ergeben, eine Frage des einzuschlagenden *speziellen Verfahrens*, dem wir uns daher nunmehr zuwenden.

Sowohl zur Erzeugung wie zum Nachweis von Ultraschall kennt die Physik eine ganze Reihe von Möglichkeiten. Wollen wir sehr hohe Frequenzen verwenden, was wegen der Gerichtetheit der höherfrequenten Ultraschallwellen gut begründet ist, so kommen von diesen verschiedenen Verfahren für die Erzeugung weder die mechanischen oder thermischen, auch weniger das magnetostriktive Verfahren in Betracht, sondern am ehesten das piezoelektrische Verfahren.

Der „piezoelektrische Effekt" besteht darin, daß bei bestimmten Krystallen — vor allem kommen Quarz, Turmalin und Seignettesalz in Betracht — bei Druck oder Dehnung in krystallographisch ausgezeichneten Richtungen auf bestimmten Krystallflächen elektrische Ladungen auftreten. Dieser Effekt ist umkehrbar: wird ein solcher Krystall in der Weise in ein elektrisches Wechselfeld gebracht, daß die Feldrichtung mit der elektrischen Achse des Krystalls zusammenfällt, erfährt dieser in der einen Phase des Wechselstromes eine Dilataton und in der anderen Phase eine Kompression um den gleichen Betrag. Da Wechselströme in beliebiger Frequenz und Energie erzeugt werden können, ist es möglich, auf Grund dieses „reziproken piezoelektrischen Effektes" auch Ultraschall beliebiger Frequenzen und auch beliebiger Energien — soweit dafür nicht durch die Festigkeit des Quarzes Grenzen gezogen sind — hervorzubringen.

Zur Untersuchung des Ultraschallfeldes nach Durchtritt durch das Untersuchungsobjekt kommen jene technische Prinzipien in Betracht, die mit kleinen Energien auskommen. Dieser Bedingung entsprechen wohl am besten das optische Verfahren sowie die Umkehrung der oben beschriebenen Ultraschallerzeugung, der piezoelektrische Nachweis.

Das optische Verfahren beruht darauf, daß Ultraschallwellen z. B. in einer durchsichtigen Flüssigkeit als optisches Gitter wirken und ein paralleles Lichtbündel, das senkrecht zum Ultraschallstrahl verläuft, beugen. An der Stärke der entstehenden Beugungsspektren läßt sich die Schallenergie ablesen. Das piezoelektrische Verfahren verwertet den direkten piezoelektrischen Effekt; ein piezoelektrischer Quarz, der diesmal als Indicator dient, formt die auf ihn auftreffenden Schallwellen in elektromagnetische Ladungen um, deren Stärke ein Maß für die Schallenergie darstellen.

Das optische Verfahren hat eine Reihe großer Vorteile; für eine rasche Orientierung ist aber doch das piezoelektrische Verfahren vorzuziehen, da es für unsere Zwecke in der Handhabung einfacher ist und vor allem rascher viele Werte verschiedener Stellen eines Objektes bestimmen läßt. Deshalb sind unsere Versuche viel öfters mit Hilfe des piezoelektrischen, als mittels des optischen Verfahrens ausgeführt worden, wobei sich zeigte, daß die Störungen, die aus der Rückwirkung des Indicatorquarzes auf das Schallfeld eintreten, offenbar nicht so groß sind, daß sie die Verwertbarkeit der Angaben entscheidend verringern. Es ist aber sehr gut möglich, daß in Zukunft das optische Verfahren mehr herangezogen wird.

So einfach an und für sich das Prinzip ist, sowohl für die Erzeugung als auch für den Nachweis des Ultraschalls den piezoelektrischen Quarz zu verwenden, so ist doch die Durchführung keineswegs ohne Schwierigkeiten möglich. Vor allem lassen sich die technischen Verfahren, die bisher auf diesem Prinzip aufgebaut sind, nicht ohne weiteres auf medizinische Angaben anwenden, besonders auch deshalb, weil sie besonders bei den medizinisch gegebenen Voraussetzungen nicht die Möglichkeit bieten, gut reproduzierbare Resultate zu erhalten. Wir waren daher

gezwungen, für unsere Zwecke eine eigene Anordnung und ein spezielles Verfahren auszuarbeiten. An dieser Stelle ist es mir eine angenehme Pflicht, meinem Dank an Frau Dozent *Seidel* vom I. Physikalischen Institut der Universität Wien dafür Ausdruck zu geben, daß sie mir auf Grund ihrer besonderen Erfahrung auf dem Gebiete der Ultraschallforschung mit Rat und Kritik bei den ersten Schritten in dieses für den Arzt fremde Gebiet weitergeholfen hat. Ebenso danke ich dem Hochfrequenztechniker *C. Reisinger*, der mir bei der konstruktiven Ausgestaltung der Apparatur behilflich war. Ich konnte auch einen kleinen Kunstgriff finden, der durch Berücksichtigung der Wellenlänge eine ausreichende Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse ermöglicht. Da eine genaue Beschreibung der Apparatur an anderer Stelle erfolgt, kann ich mich hier auf das Grundsätzliche beschränken.

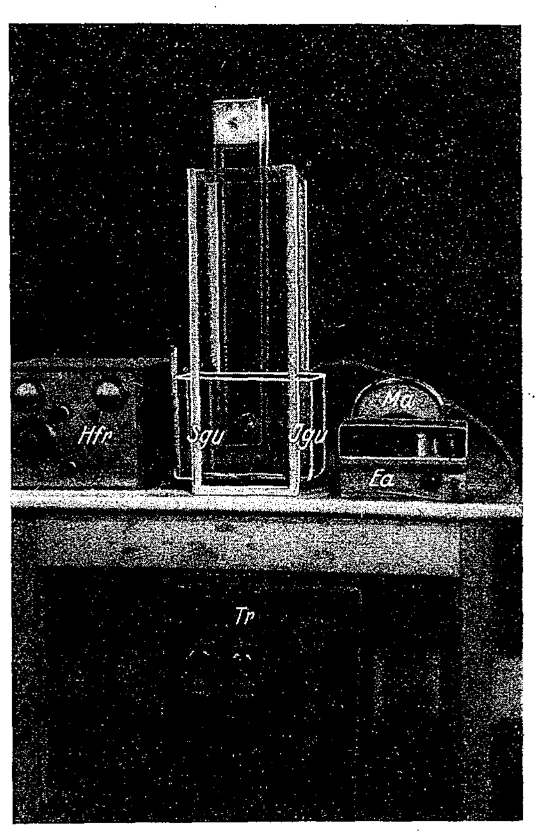


Abb. 1. Überblick über die Versuchsanordnung für kleine Objekte. [Die mit Lichtstrom betriebene Apparatur besteht aus einem Transformator *Tr*, einem Hochfrequenzgenerator *Hfr*, ferner aus dem Sendequarz *Squ* und dem Indicatorquarz *Iqu*, beide in entsprechenden Halterungen. Der am Indicatorquarz entstehende Wechselstrom wird in dem Empfängeraggregat *Ea* verstärkt, gleichgerichtet und der entstehende Gleichstrom mit dem Milliampèremeter *Ma* gemessen. Das zu untersuchende Objekt (hier ein Modell aus Wachs) wird zwischen Sende- und Indicatorquarz gehalten und kann ebenso wie diese in allen drei Richtungen des Raumes verschoben werden.] Des besseren Überblicks halber ist auf der Abbildung ein Teil der Objekthalterung, der Registriereinrichtung sowie die Ölfüllung weggelassen.

Die durch das spezielle Verfahren technisch zu lösende Aufgabe war, die in einem Objekt bestehenden Absorptionsverhältnisse mit sehr kleinen Schallenergien für kleine Felder (z. B. 1 qcm) eines Untersuchungsobjektes zu bestimmen und die Ergebnisse mit Hilfe einer Registriermethode gut darzustellen, also ein anschauliches *Ultraschallbild* des Untersuchungsobjektes zustande zu bringen. Diese Aufgabe kann mit folgender Anordnung gelöst werden. Das Objekt befindet sich mit den zu untersuchenden Teilen in einem Wasserbad. In dem das Wasser fassenden Gefäß sind in zwei einander gegenüberliegenden Wänden Fenster angebracht, die nur mit einer dünnen Folie verschlossen sind. Je nach der Größe des Objektes kann entweder das ganze Wassergefäß in einem größeren Gefäß untergebracht werden oder es werden die den beiden Fenstern gegenüber angebrachten Quarze in einer Kapsel untergebracht. Jedenfalls müssen die beiden Quarze in isolierendem Öl untergebracht sein. Die gedachte Verbindungslinie zwischen den Quarzen

geht durch die beiden Folien und durch die zu untersuchende Partie des Objektes. Objekt und beide Quarze können durch eine entsprechende Halterung in den drei Richtungen des Raumes verschoben und in jeder Stellung festgehalten werden. Auf der einen Seite befindet sich der Senderquarz, der durch das Wechselfeld eines Hochfrequenzgenerators zu den Schwingungen angeregt wird. Die dadurch entstehenden Ultraschallwellen bilden einen Strahl, der durch das Öl, die Folie der einen

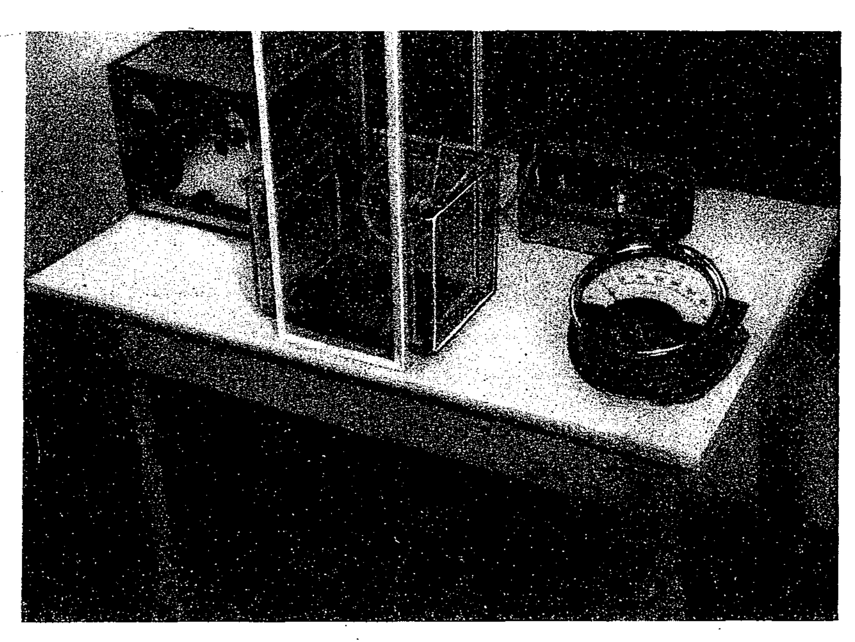


Abb. 2. Blick auf die Halterung der piezoelektrischen Quarze.

Seite in das Wasser und an das Objekt tritt, mit dem größten Teil der Schwingungen dieses geradlinig durchschallt und an der Gegenseite wieder austritt. Der Strahl geht wieder durch Wasser, Folie und Öl an den Indicator- oder Empfängerquarz, der die ankommenden Schwingungen übernimmt und sie in elektromagnetische Ladungen umformt. Der dadurch entstehende sehr schwache Wechselstrom wird einem Aggregat zugeführt, das nach Art eines Rundfunkempfängers arbeitet, den Strom durch geeignete Röhren verstärkt und gleichrichtet. Der gleichgerichtete Strom ist der Intensität des am Indicatorquarz ankommenden Ultraschalles direkt proportional, so daß wir in der an einem Milliampèremeter abzulesenden Teilstrichanzahl ein relatives Maß der Schallenergie, die am Empfängerquarz ankommt, haben. Wir stellen zuerst den „Leerwert" der Apparatur fest, bringen dann zwischen Sender- und Empfängerquarz das zu untersuchende Objekt und untersuchen durch entsprechende Lageverschiebung Feld für Feld die durchgehende Ultraschallmenge, die von der Absorption im Objekt abhängt. Um reproduzierbare Werte zu erhalten, ist die Berücksichtigung der Wellenlänge erforderlich, wodurch dieses Ziel in ausreichender Weise erreichbar wird.

Um die auf diese Weise erhaltenen Werte anschaulich zu registrieren, kann man entweder so vorgehen, daß man sie in eine Abbildung des Objektes feldweise einträgt oder daß man die Photographie zu Hilfe nimmt. Im ersten Falle wird das Maß der Absorption zweckmäßig dadurch sinnfällig gemacht, daß die betreffenden Felder durch eine Stufenleiter von Schwarz (vollständige Absorption, kein Schalldurchtritt) über Grautöne zunehmender Helligkeit (abnehmende Absorption, größer werdende Schallenergie am Empfängerquarz) bis zu Weiß (Durchtritt des gesamten zur Verfügung stehenden Schalles) gekennzeichnet werden. Zum Zwecke der automatischen Registrierung führt man den Gleichstrom nach der Messung einer Glimmlampe zu, die um so mehr aufleuchten wird, je mehr Strom sie erhält. Bei gleicher Belichtungszeit in jedem Felde kommt es auf der photographischen Platte zu Schwärzungen, deren Kopie die gleiche relative Verteilung der Grautöue aufweist, wie eben beschrieben.

Abb. 3. Ultraschallbild, entsprechend dem Ergebnis der fünften Messung der Tabelle 1. Zur Übersicht eine Umrißskizze der basalen und vertikalen Schnittfläche des Präparates mit dem eingezeichneten Ventrikelschnitt. (Je heller das betreffende Feld im Ultraschallbild erscheint, desto mehr Schall wurde gemessen, desto geringer war also an dieser Stelle die Absorption.) Richtung des Ultraschallstrahles senkrecht auf die vertikale Schnittfläche (entsprechend den beiden kleinen Pfeilen).

An Hand eines kleinen Beispiels mit leicht übersehbaren Formverhältnissen sei die praktische Ausführung im Prinzip demonstriert (Abb. 3 und Tabelle 1). Es handelt sich um ein Stück aus der rechten Hemisphäre eines normalen, in Formol gehärteten Gehirnes, in das von unten ein Ventrikelabschnitt reicht. Die Skizzen des Umrisses der basalen und vertikalen Schnittfläche mit dem eingezeichneten Umriß des Ventrikelabschnittes geben eine Vorstellung von den Formverhältnissen. Es wurde der unterste Streifen untersucht, der in sechs je ein Quadratzentimeter große Felder eingeteilt ist. Der Leerwert betrug 150 Teilstriche, die in den einzelnen Feldern gemessenen Werte sind aus der Tabelle zu entnehmen. Zum Zwecke der Kontrolle der Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse wurden fünf Kontrollmessungen derart vorgenommen, daß nach Bestimmung der relativen Absorption in den sechs

Tabelle 1.
Meßergebnisse an einem 1 cm hohen Streifen eines in Formol gehärteten Stückes der rechten Hemisphäre eines normalen Großhirns bei fünf Kontrollmessungen.

Messung:	Feld:						
	I	II	III	IV	V	VI	
1.	50	50	90	50	30	60	Teilstriche
2.	55	70	80	55	35	55	,,
3.	50	80	85	50	35	55	,,
4.	60	85	85	55	35	55	,,
5.	55	85	100	55	45	60	,,

Feldern die Apparatur ganz ausgeschaltet wurde und nun die Messungen unter möglichst gleichen Bedingungen wiederholt wurden. Es zeigt sich, daß alle fünf Kontrollversuche die gleiche gut charakterisierte Verteilung der Werte zeigten. Im einzelnen differierten die Werte um Beträge unter 10%, nur im zweiten Felde (zweite vertikale Reihe der Tabelle) ist die Streuung größer. Dies ist jedoch offenbar kein Meßfehler, sondern eine Folge der noch nicht exakt genug durchgeführten Halterung des Präparates. Im zweiten Felde wirkt sich der Umstand, daß nicht ganz genau das gleiche Feld wie bei dem vorhergehenden Versuch gemessen wird, wegen des Verlaufes der Ventrikelwand stärker aus. Die Werte der letzten Reihe von Kontrollmessungen sind relativ hoch, was mit der während der Versuche eingetretenen Temperaturerhöhung von 21,1 auf 22° zusammenhängt. Trotz dieser noch weit zu verringernden Fehler zeigt dieses kleine Beispiel doch, daß mit einem Blick ein guter Eindruck der Schallabsorptionsverhältnisse des vorliegenden Präparates aus dem Ultraschallbildchen zu gewinnen ist. (Soweit gemessen.)

Ultraschallbilder größerer Objekte setzen eine entsprechend gute Halterung voraus. Die Auffindung der gesetzmäßigen Beziehungen dieser Ultraschallbilder erfordert eine sehr große Reihe solcher Untersuchungen, die im Gange sind. Auch Vergleiche normaler und pathologischer Gewebe wurden bereits begonnen, worüber an anderer Stelle gemeinsam mit *I. Hofbauer* berichtet wird. Über die Absorption in normalem menschlichen Gewebe hat *Pohlmann* Untersuchungen mittels der Methode der Ultraschallwaage angestellt. Er bestimmte die „Halbwertschicht“ von Fett, Muskulatur und aus diesen zusammengesetzten Gewebepartien, mit der Fragestellung, für seine therapeutischen Versuche Anhaltspunkte über die Energie zu erhalten, die in der Tiefe liegenden Gebilde, wie z. B. der N. ischiadicus noch zugeführt bekommen. *Pohlmann* gibt an, eine überraschend geringe Absorption gefunden zu haben, die etwa den Werten einer stark absorbierenden Flüssigkeit entsprechen. Muskelschichten wiesen annähernd die doppelte Absorption auf, als Fettgewebe. Ferner hebt *Pohlmann* hervor, daß überraschenderweise die Absorption im Gewebe nicht frequenzunabhängig war, wie es eigentlich nach dem physikalischen Gesetz (a/v^2) erwartet werden müßte.

Es wurde weiters praktisch geprüft, ob sich mit diesem speziellen Verfahren auch tatsächlich Untersuchungen am Lebenden ohne Schädigungen durchführen lassen. Zu diesem Zwecke haben *I. Hofbauer*, *C. Reisinger* und Verfasser wiederholt Ultraschall von 1500 kHz und

einer Energie, die gerade ausreichte, um ihn nach dem Wiederaustritt nachzuweisen, durch den eigenen Körper gehen lassen, solche mechanische Schwingungen schließlich auch quer durch den Schädel von Schläfe zu Schläfe geleitet, wobei wiederum gerade jene Energie verwendet wurde, die ausreichte, den Schall nach dem Wiederaustritt nachzuweisen. Bei dieser Energie war eigentlich überhaupt nichts zu spüren, es wurden auch keine schädlichen Folgen beobachtet. Der austretende Ultraschall war dabei nur in einem Felde nachweisbar, das dem Eintrittsfeld gegenüberlag, was durch die geradlinige Fortpflanzung des Ultraschallstrahles bedingt ist und diese auch für den Fall des Durchtritts durch den Schädel bestätigt. Diese Beobachtungen über die gute Verträglichkeit sehr kleiner Ultraschallenergien stimmt mit den Ergebnissen von Selbstversuchen *Pohlmanns* überein, von denen wir nachträglich Kenntnis erhielten. *Pohlmann* setzte seinen Daumenballen einem Ultraschallstrahl von 800 kHz unter Anwendung einer etwas größeren Energie als wir aus und hat ebenfalls keine schädlichen Folgen beobachtet, obwohl er wochenlang solche Bestrahlungen wiederholte.

In diesen Feststellungen liegt auch kein Widerspruch zu den Ergebnissen der biologischen Untersuchungen und zu denen von *Gohr* und *Wederkind*, die eine ganz wesentlich höhere (mindestens fünfzigfache) Energie anwendeten. Es handelt sich eben um eine Frage der Schallamplitude[1]. Der Körper verträgt bis zu einer bestimmten Schwelle die hochfrequenten mechanischen Schwingungen ebenso gut wie er z. B. auch hochfrequente Ströme verträgt. Es ist trotzdem unbedingt notwendig, größte Vorsicht walten zu lassen und weitere Erfahrungen Schritt für Schritt zu sammeln. Es wäre aber ebenso verfehlt, wegen der bei den biologischen Versuchen beobachteten Schädigungen oder aus anderen Gründen vor Versuchen mit dieser Energieform zurückzuschrecken, wie es z. B. unrichtig wäre, wegen der Folgen eines Blitzschlages die elektrischen Untersuchungen der Nerven- und Muskelerregbarkeit zu fürchten.

Zur Erläuterung einer anderen Möglichkeit, den Ultraschall zu diagnostischen Zwecken zu verwerten, soll zunächst die Frage besprochen werden, ob nicht auch die Echoerscheinungen einen brauchbaren Weg bieten könnten. Da dieser Weg in der Technik bei der Bestimmung der Meerestiefen die größte Rolle spielt, war es auch mein erster Gedanke, in Analogie dazu vorzugehen. Ich habe den Weg aber experimentell gar nicht beschritten, weil ich glaubte, daß bei den komplizierten Form- und Schichtverhältnissen im Körper so unübersichtliche Reflexionsverhältnisse herrschen dürften, daß bei der geringen Energie, die wir uns erlauben dürfen, klare Auskünfte nur sehr schwer erreichbar sein würden. Nun haben *Gohr* und *Wederkind* 1940 auf die Möglichkeit hingewiesen,

[1] Nach *Dognon* und *Biancani* ist noch ein guter Empfang möglich, wenn die am Empfängerquarz ankommende Vibration den Flüssigkeitsmolekülen Bewegungen erteilt, die 10^{-9} cm nicht überschreiten, also kleiner als die Molekülgröße sind.

die Ultraschallotung zu diagnostischen Zwecken, und zwar zur „Feststellung der Größe und Form innerer Organe und krankhafter Veränderungen (Tumoren, Exsudate, Abscesse usw.) zu verwenden". *Gohr* und *Wederkind* meinen, dieser Weg zur Lagebestimmung sei durchaus beschreitbar und würde bei Anwendung geeigneter Wellenlängen sehr exakte Resultate ergeben, was eine wertvolle Ergänzung des Röntgenverfahrens bedeuten würde. Ergebnisse auf Grund dieser Annahme sind meines Wissens noch nicht bekanntgeworden. Auch *Schliephake* führt in der schon mehrfach zitierten Arbeit 1940 aus, daß sich „vielleicht auch diagnostische Möglichkeiten aus der Verwendung von Schall- und Ultraschallwellen ergeben könnten. Insbesondere käme eine Anpeilung von Verdichtungsherden, Tumoren usw. im Inneren des Körpers durch Erzeugung stehender Wellen in Frage, also eine Art verfeinerter Perkussion." Unser eigenes spezielles Verfahren ist von diesen beiden Vorschlägen grundsätzlich verschieden, da es mit dem Faktor der Absorption arbeitet, der bei diesen beiden Vorschlägen nicht herangezogen wird und vielleicht der einfachste ist.

Vorliegendes spezielles Verfahren stellt eine Modifikation jener Verfahren dar, die von der Technik bei der Werkstoffprüfung versuchsweise angewendet wurden, mußte jedoch für die medizinischen Aufgaben eigens adaptiert und in dem wichtigen Punkt der Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse ausgestaltet werden. An Hand einer Erörterung dieser technischen Verfahren läßt sich dies noch näher erläutern, weshalb wir darauf kurz eingehen.

Bei den technischen Verfahren, die hier in Frage kommen, handelt es sich nach der Schilderung *Bergmanns* darum, mittels Ultraschall eine Prüfung größerer Werkstücke vorzunehmen, bei denen die Durchleuchtung mit Röntgenstrahlen nicht mehr möglich ist. Dadurch sollen Inhomogenitäten, wie Hohlräume, Risse usw. erkannt werden, da an solchen Fehlerstellen eine Reflexion oder Absorption der Ultraschallwellen stattfinden, demzufolge an der dem Schallgeber gegenüberliegenden Seite weniger Schallenergie austritt als an benachbarten Punkten. Als erster hat *Mühlhäuser* darauf aufmerksam gemacht, daß eine solche Möglichkeit gegeben wäre, die ersten praktischen Versuche hat *Sokoloff* an größeren Stahlstücken durchgeführt. Der Quarz wird an das Werkstück, dessen Flächen eben geschliffen werden müssen, angedrückt, die Schallwellen durchlaufen den Stahl und werden nach ihrem Austritt durch das optische Verfahren nachgewiesen. Zu diesem Zwecke werden die austretenden Schallwellen in eine Flüssigkeit geleitet, durch die im rechten Winkel zum Schallstrahl ein paralleles Lichtbündel geleitet wird. Die Schallwellen verursachen eine Beugung des Lichtes, die Intensität der Beugungsspektren läßt dann auf Inhomogenitäten im Innern des Werkstückes schließen. Für die praktische Durchführung ergeben sich aber große Schwierigkeiten *(Kruse, Bergmann)*, insbesondere für eine serienweise Prüfung von Werkstücken. *Kruse* hebt drei Bedingungen hervor, die für einwandfreies Erkennen von Fehlerstellen nötig sind: erstens muß die verwendete Schallwelle im Inneren des Objektes kleiner sein als das kleinste zu erwartende Hindernis; zweitens muß die das Werkstück durchsetzende Schallenergie quantitativ und reproduzierbar einstellbar sein; drittens muß die hindurchgetretene Energie quantitativ und reproduzierbar meßbar sein. Die beiden letzteren Bedingungen seien schon sehr schwer und nur bei gut bearbeiteten Werkstücken erfüllbar, da schon kleine Inhomogenitäten ohne Bedeutung als Fehlerstellen Anlaß zu unerwünschten Beugungs- und Reflexionserscheinungen geben, die das Bild verwischen. Später haben *Sokoloff* und *Kruse* auch mit piezo-

elektrischen Schallindicatoren gearbeitet, es zeigten sich jedoch auch hier praktisch wenig zufriedenstellende Resultate, da schon eine minimale Änderung der Frequenz oder eine etwas andere Anbringung des Schallgebers bewirken kann, daß die durch das Werkstück hindurchgetretene Energie von einem Maximum auf ein Minimum absinkt, ohne daß damit eine Verschiedenheit des Untersuchungsobjektes angezeigt würde. Ferner entstehen noch Schwierigkeiten durch das Auftreten stehender Wellen, durch die Mehrwelligkeit des Quarzes sowie durch die infolge gegenseitiger Beeinflussung einzelner Teilabschnitte hervorgerufenen Kopplungsschwingungen. — *Meyer* und *Buchmann* haben magnetostriktive Schallgeber verwendet, die an das Werkstück — eisenbewehrte Betonbalken — angegipst werden.

Eine Überlegung darüber, was diese bei der technischen Anwendung auftretenden Schwierigkeiten für unser Anwendungsgebiet bedeuten, muß davon ausgehen, daß unsere Aufgabenstellung wesentlich verschieden ist, vor allem der Größenordnung nach. Wir wollen nicht Fehler feststellen, die nach Zehntelmillimeter messen, da dies für unsere Aufgabe ohne Bedeutung wäre. Für uns handelt es sich um Gebiete, die mehrere Zentimeter messen und die außerdem nicht auf ein mehrere Meter großes Werkstück verteilt sind. Wir können ferner hoffen, auch bei weiter gezogenen Fehlergrenzen noch verwertbare Resultate zu erhalten, da es sich um Differenzen handelt, die schon den Hörschall beeinflussen und dann mit unserem Ohr unmittelbar zu erkennen sind. Auch besteht für uns nicht die Notwendigkeit, absolute Maße zu erhalten, wie sie den Physiker (bei anderen Untersuchungen) interessieren. Für uns genügen Vergleichsmessungen. Schließlich war es, wie oben erwähnt, möglich, eine Verbesserung der Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse durch Anwendung eines kleinen Kunstgriffes zu erzielen.

Die zweite der unserer vorliegenden Untersuchung zugrunde gelegten Frage, wie sich eine Gefährdung vermeiden läßt und welche Bedingungen das zu wählende Verfahren einhalten muß, um ohne Schädigung genaue, reproduzierbare Angaben auf einfachem Wege zu liefern, ist somit grundsätzlich beantwortet. Die Prüfung der klinischen Anwendbarkeit ist Aufgabe weiterer, im Gange befindlicher Versuche.

III.

Eine erfolgreiche klinische Anwendung der hochfrequenten mechanischen Schwingungen setzt noch eine Abgrenzung der Indikation voraus, vor allem die Beantwortung der Frage, welche Körpergegenden sich für solche Untersuchungen eignen. Es muß nämlich noch auf eine Eigenschaft der Ultraschallschwingungen Bedacht genommen werden, die ihre Anwendung wesentlich einschränken dürfte. Ultraschall wird in gasförmigen Medien ganz wesentlich stärker absorbiert als in Flüssigkeiten und festen Körpern. Man erhält z. B. für Luft nach *Bergmann* bei gleicher Frequenz einen etwa 1700mal höheren Wert der Absorption als für Wasser. Infolgedessen muß dafür gesorgt sein, daß zwischen Senderquarz und Indicatorquarz die mechanischen Schwingungen auf ihrem Wege nirgends durch Luftschichten gehen. Da auch schon sehr kleine gasförmige Schichten wegen der an ihnen auftretenden Reflexion und

der hohen Dämpfung Ultraschall der verwendbaren Energiegröße praktisch vernichten, eine Steigerung der Energie sich aber wegen der Gefahr, an der Eintrittstelle Schädigungen des Gewebes zu setzen, verbietet, kommen nur solche Körperteile und Organe für diese Untersuchung in Frage, bei denen keine lufthältigen Schichten passiert werden müssen. Damit fallen für unser spezielles Verfahren z. B. die großen Körperhöhlen weg. Ob die schon erwähnte, von *Gohr* und *Wederkind* vorgeschlagene Ultraschallotung oder die von *Schliephake* gedachte Ultraschallpeilung mit Hilfe stehender Wellen hier als Methoden einspringen können, kann von uns mangels Gelegenheit zu eigenen Untersuchungen nicht gesagt werden.

Es gibt jedoch ein Gebiet, das trotz dieser Einschränkung für Untersuchungen mit unserem Verfahren geeignete Bedingungen aufweist. Wir sehen dabei von den denkbaren Untersuchungen im Bereiche der parenchymatösen Organe (z. B. Leber, Nieren, Testes) sowie den Extremitäten und kleineren Fragestellungen ab, wenden uns vielmehr Untersuchungen im Bereiche des Hirnschädels und der Wirbelsäule zu. Hier liegen die anatomischen Verhältnisse günstiger, denn die lufthaltigen Nasennebenhöhlen und das Mittelohr mit den Mastoidzellen können durch entsprechende Wahl der Untersuchungsrichtungen umgangen werden. Außerdem ist es ohne weiteres klar, daß es eine Bedeutung für die neurologische Untersuchung hätte, wenn dadurch neue Möglichkeiten zu gewinnen wären, Aufschlüsse über Veränderungen der Konsistenz, der Elastizitätsverhältnisse und des kolloidalen Zustandes im Zentralnervensystem ohne chirurgischen Eingriff zu erhalten, die genau zu lokalisieren wären. Bei den bekannten Schwierigkeiten, röntgenologisch z. B. Tumoren im Schädelinneren nachzuweisen, die uns meist zu komplizierten Hilfsmethoden chirurgischer Art vor einer Operation zwingen, wobei wir dadurch außerdem meist nur annähernde Angaben über Art- und Ortdiagnose erhalten, müßte hier ein Feld für die Anwendung unseres Verfahrens gegeben sein. Aber nicht nur Diagnose und Lokalisation der Tumoren und Abscesse, sondern auch andere Fragestellungen z. B. über Hirnödem und Hirnschwellung, sowie über beginnende und ausgesprochene Folgen von Gefäßerkrankungen und Kreislaufstörungen, sowie vielleicht auch über passagere Zustände bei Migräne und epileptischen Anfällen, sowie Reizversuche würden z. B. möglicherweise durch solche Versuche gefördert werden können, wobei es uns fernliegt, die Fülle von Schwierigkeiten zu übersehen oder auch übermäßige Erwartungen zu hegen oder auszusprechen. Es liegt in der Natur der Sache, daß die Versuche, die im Gange sind, langwierig und schwierig sind. Trotz der gerade bei diesen Untersuchungen bestehenden Unterschiede zwischen lebender und toter Substanz sind doch auch Aufschlüsse von der Untersuchung pathologisch-anatomischer Präparate zu erwarten, worüber an anderer Stelle gemeinsam mit *I. Hofbauer* berichtet wird, die diese Versuche teilweise selbständig weiterführte, während ich zum Militärdienst einrückte.

Zum Schlusse sei noch kurz auf die Frage der therapeutischen Anwendung des Ultraschalls eingegangen. Schon *Langevin*, der den ersten Ultraschallgenerator für große Energien baute, hat an diese Möglichkeit gedacht und in den letzten Jahren sind auch eine Reihe von Arbeiten über dieses Problem erschienen. Dabei wurden teilweise auch Beobachtungen veröffentlicht, die ich bereits zitiert habe, obwohl sie mir bei Ausarbeitung unseres Verfahrens noch nicht bekannt sein konnten, jedoch — wie sich nachträglich für mich herausstellte — die Grundannahme gut stützten. Deshalb wurden sie auch im Zusammenhange der Darstellung geschildert und nicht etwa der Entwicklung entsprechend, die unsere eigenen Arbeiten genommen haben, nur von den eigenen Versuchen ausgegangen. In therapeutischer Hinsicht haben wir keine eigenen Beobachtungen gemacht. Für diese ergeben sich auf Grund der bisherigen Veröffentlichungen drei bisher bearbeitete Anwendungsgebiete. Erstens wurde versucht, Schwerhörigkeit mit Ultraschallwellen zu behandeln *(Hamm, Diesbacher, Frenzel* u. a., *Perwitzschki, Voß)*. Das zweite Gebiet betrifft die Behandlung rheumatischer Erkrankungen, wie Neuralgien und Neuritiden (*Pohlmann, Freundlich, Söllner* und *Rogowski* und später andere). Drittens wurde versucht, verschiedene Substanzen durch Ultraschall in die Haut einzubringen *(Florstedt* und *Pohlmann)*. Es war nämlich festgestellt worden, daß die Diffusionsvorgänge durch Ultraschall gesteigert werden *(Frenzel, Hinsberg* und *Schultes)*, was auch in anderem Zusammenhange bemerkenswert ist. Es werden Erfolge berichtet, die auch dazu geführt haben, daß z. B. die Firma Siemens & Reiniger Ultraschallapparate zwecks therapeutischer Verwendung des Ultraschalls in den Handel gebracht hat.

Wir können nicht entscheiden, ob durch diese Anwendungsarten des Ultraschalls die Verfahren, an die sich die beiden letzten Anwendungsgebiete anschließen, also die Diathermie und Kurzwellendiathermie einerseits und die Jontophorese andererseits durch die Anwendung hochfrequenter mechanischer Wellen übertroffen oder ergänzt werden. Unseres Erachtens ist die Anwendung des Ultraschalls besonders insofern aussichtsreich als seine speziellen physikalischen Eigenarten ausgenützt werden können. Ebenso wie wir an die Anwendung im Bereiche der großen Körperhöhlen, wo überdies das Röntgen Lokalisation und Diagnose so gut ermöglicht, keine besonderen diagnostischen Hoffnungen auf den Ultraschall setzen, sondern mehr auf solche Gebiete, wo wie beim Zentralnervensystem der Röntgendiagnostik gewisse Schwierigkeiten entgegentreten, in ähnlicher Weise halten wir es auf therapeutischem Gebiete für aussichtsreicher, speziellere Indikationen festzulegen und zu befolgen. Dafür geben bereits die experimentellen Ergebnisse über die Beeinflussung verschiedener Bakterien- und Virusarten (so der Lyssa-Poliomyelitis- und Fleckfiebererreger sowie der Vaccine), worüber eine Reihe von Arbeiten von *Kasahara, Takahashi, Blinkin* u. a., *Hirohashi, Williams* und *Gaines* sowie *Hopwood* u. a. berichten, einen Hinweis, ferner können sich solche Versuche an die

Beeinflussung der kolloidalen Struktur der Zellen und Gewebe oder an die gefäßerweiternde Wirkung des Ultraschalls anschließen. Dasselbe gilt für die Beobachtungen über die Beeinflussung des Hühnersarkoms (*Namikawa*) und des Rattensarkoms (*Hirohashi* und *Hayashi*). Wir glauben jedenfalls, daß bei aller berechtigten Skepsis das Urteil verfrüht wäre, zu dem *Gohr* und *Wederkind* kommen, es seien therapeutische Anwendungen des Ultraschalls wahrscheinlich nicht möglich. Die Antwort auf alle diese Fragen kann nur das Experiment geben, zu dem für mich derzeit leider nur eine beschränkte Möglichkeit besteht.

Zusammenfassung.

1. Angeregt durch einen Bericht über die Anwendung des Ultraschalles in der Technik wurde untersucht, ob die hochfrequenten mechanischen Schwingungen als diagnostisches Hilfsmittel verwertbar wären. Es wurde gefolgert, daß diese Energieform Angaben über Zustandsänderungen der Gewebe und deren Lokalisation ermöglichen könnten.

2. Weiters wurden die Bedingungen erörtert, die ein Verfahren einhalten muß, um ohne Schädigung genaue, verläßliche Angaben bei einfacher Handhabung zu liefern. Es konnte ein Verfahren für die speziellen Aufgaben der diagnostischen Untersuchungen ausgearbeitet werden, das diese Bedingungen erfüllt.

3. Für die Untersuchung kommen nur bestimmte Körperteile in Frage, zu denen der Hirnschädel und die Wirbelsäule gehören dürften. Die hier zu gewinnenden Angaben könnten praktischen Wert haben.

Verzeichnis des Schrifttums.

Bergmann, L.: Der Ultraschall. 2. Aufl. Berlin: VDI-Verlag 1939. — *Blinkin, Polotzki* u. *Inosemzewa:* Z. Mikrobiol. **1940**, 132. — *Diesbacher:* Mschr. Ohrenheilk. **1932**, H. 11, 66. — *Dognon, E.* et *H. Biancani:* Ultrasons et biologie. Paris: Gauthiers-Villard 1937. — *Florstedt* u. *Pohlmann:* Z. exper. Med. **107**, 212 (1940). — *Frenzel, Hinsberg* u. *Schultes:* Z. Hals- usw. Heilk. **31, 34** (1934). — Z. exper. Med. **89**, 24 (1933); **96**, 811 (1935). — *Freundlich, Söllner* u. *Rogowski:* Klin. Wschr. **1932 II**, 1512. — *Gohr* u. *Wederkind:* Klin. Wschr. **1940 I**, 25. — *Hamm:* Klin. Wschr. **1931 II**, 2262. — Mschr. Ohrenheilk. **1932**, H. 11, 66. — *Hayashi:* Jap. J. med. Sci. Trans. III, Biophysics **5**, 162 (1938). — *Hiedemann:* Grundlagen und Ergebnisse der Ultraschallforschung. Berlin: W. de Gruyter & Co. 1939. — *Hopwood, Salaman* and *McFarlane:* Nature (Lond.) **144**, 377 (1939). — *Kasahara* u. a.: Mschr. Kinderheilk. **72**, 8 (1938); **73**, 11 (1939). — Klin. Wschr. **1939 II**, 971; **1940 I**, 817. — *Kruse:* Akust. Z. **4**, 153 (1939). — *Langevin:* Zit. nach *Bergmann* u. *Dognon* u. *Biancani.* — *Meyer* u. *Buchmann:* Akust. Z. **3**, 132 (1938). — *Mühlhäuser:* DRP. Nr 56958 (1931). — *Namikawa:* Jap. J. med. Sci. Trans. III. Biophysics **5**, 162 (1938). — *Perwitzschki:* Arch. Ohrenheilk. 136 (1933). — *Pohlmann:* Umsch. (1939) **43**, 725; (1940) **44**, 225. — Physik. 2, **40** (1939) 159. — *Pohlmann, Richter* u. *Parow:* Dtsch. med. Wschr. **1939 I** 251. — *Rogowski* u. *Söllner:* Z. physik. Chemie A **166**, 428 (1933). — *Schliephake:* Med. Welt **1940**. — *Sokoloff:* Zit. nach *Bergmann.* Techn. Phys. USSR **2**, 522 (1935). — *Takahashi:* Science (N. Y.) **79**, 415 (1935). — *Voß:* Arch. Ohr- usw. Heilk. **135**, 258 (1932). — *Williams* and *Gaines:* J. inf. Dis. **47**, 458 (1930). — *Wood* and *Loomis:* Physiologic. Rev. II **29**, 373 (1927).